

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

J1050 U.S. PTO  
10/098688  
03/15/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日  
Date of Application: 2001年 3月16日

出願番号  
Application Number: 特願2001-075756

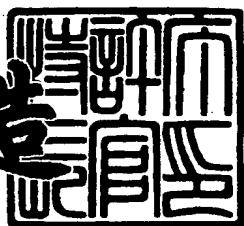
[ ST.10/C ]: [JP2001-075756]

出願人  
Applicant(s): 株式会社半導体エネルギー研究所

2002年 1月29日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3002052

【書類名】 特許願

【整理番号】 P005584

【提出日】 平成13年 3月16日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内

【氏名】 山崎 舜平

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内

【氏名】 大谷 久

【特許出願人】

【識別番号】 000153878

【氏名又は名称】 株式会社半導体エネルギー研究所

【代表者】 山崎 舜平

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002543

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 热処理装置及びそれを用いた热処理方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】

反応管と、前記反応管の上流側からガスを供給する手段と、前記反応管の上流側において前記ガスを加熱する手段と、前記反応管の下流側において被処理基板を保持する手段と、前記ガスを前記反応管の下流側から上流側へ循環させる手段と、を備えたことを特徴とする熱処理装置。

【請求項2】

反応管と、前記反応管の上流側からガスを供給する手段と、前記反応管の上流側に設けられた発熱手段と、該発熱手段からの熱輻射を吸収する吸熱体と、前記反応管の下流側において被処理基板を保持する手段と、前記ガスを前記反応管の下流側から排気した後再度上流側から供給させる循環手段と、を備えたことを特徴とする熱処理装置。

【請求項3】

ガスを吸入する吸気部と吸入した前記ガスを排気する排気部とを備えた反応管と、前記反応管内において吸入した前記ガスを加熱する加熱手段と、前記加熱手段により加熱された前記ガスを前記反応管内に配置される被処理基板に供給する手段と、前記排気部から排出した前記ガスを前記吸気部へ循環させる手段と、を備えたことを特徴とする熱処理装置。

【請求項4】

ガスを吸入する吸気部と吸入した前記ガスを排気する排気部とを備えた反応管と、前記反応管内において吸入した前記ガスを加熱する発熱手段と、該発熱手段からの熱輻射を吸収する吸熱体とから成る加熱手段と、前記加熱手段により加熱された前記ガスを前記反応管内に配置される被処理基板に供給する手段と、前記排気部から排出した前記ガスを前記吸気部へ循環させる手段と、を備えたことを特徴とする熱処理装置。

【請求項5】

反応管と、前記反応管の上流側から熱交換器を介してガスを供給する手段と、

前記反応管の上流側において前記ガスを加熱する手段と、前記反応管の下流側において被処理基板を保持する手段と、前記ガスを前記反応管の下流側から前記熱交換器へ供給する手段と、を備えたことを特徴とする熱処理装置。

【請求項6】

ガスを吸入する吸気部と、吸入した前記ガスを排気する排気部とを有する反応管と、前記吸気部の前段に設けられた熱交換器と、前記熱交換器を通してガスを供給する手段と、前記反応管内において吸入した前記ガスを加熱する加熱手段と、前記加熱手段により加熱された前記ガスを前記反応管内に配置される被処理基板に供給する手段と、前記排気部から排出した前記ガスを前記熱交換器に供給する手段と、を備えたことを特徴とする熱処理装置。

【請求項7】

請求項1乃至請求項6のいずれか一において、前記ガスは、窒素または希ガスであることを特徴とする熱処理装置。

【請求項8】

請求項1乃至請求項6のいずれか一において、前記ガスは、還元性ガスであることを特徴とする熱処理装置。

【請求項9】

請求項1乃至請求項6のいずれか一において、前記ガスは、酸化性ガスであることを特徴とする熱処理装置。

【請求項10】

請求項1乃至請求項6のいずれか一において、前記反応管は、石英又はセラミックで形成されていることを特徴とする熱処理装置。

【請求項11】

請求項1又は請求項3又は請求項5のいずれか一において、前記加熱手段にハロゲンランプ、メタルハライドランプ、高圧水銀ランプ、高圧ナトリウムランプ、キセノンランプから選ばれた一種又は複数種が用いられていることを特徴とする熱処理装置。

【請求項12】

請求項2又は請求項4において、前記発熱手段にハロゲンランプ、メタルハ

イドランプ、高圧水銀ランプ、高圧ナトリウムランプ、キセノンランプから選ばれた一種又は複数種が用いられていることを特徴とする熱処理装置。

【請求項13】

請求項2又は請求項4において、前記吸熱体は、石英、SiC、Siから選ばれた一種又は複数種であることを特徴とする熱処理装置。

【請求項14】

反応管の上流側からガスを供給し、前記反応管の上流側に設けられた加熱手段により前記ガスを加熱して下流側に流し、前記ガスを前記反応管の下流側から上流側へ循環させながら前記反応管の下流側に設けられた被処理基板を加熱することを特徴とする熱処理方法。

【請求項15】

反応管の上流側からガスを供給し、前記反応管の上流側に設けられた発熱手段と該発熱手段の熱輻射を吸収する吸熱体とにより前記ガスを加熱して下流側へ流し、前記ガスを前記反応管の下流側から排気した後、再度上流側から供給し、循環させながら前記反応管の下流側に保持された被処理基板を加熱することを特徴とする熱処理方法。

【請求項16】

反応管の吸気部からガスを供給し、前記反応管内に設けられた加熱手段により前記ガスを加熱して下流側へ流し、前記反応管の排気部から前記ガスを排気した後、再度前記吸気部から供給し、循環させながら前記反応管内に配置された被処理基板を加熱することを特徴とする熱処理方法。

【請求項17】

反応管の吸気部からガスを供給し、前記反応管の上流側に設けられた発熱手段と該発熱手段の熱輻射を吸収する吸熱体とにより前記ガスを加熱して下流側へ流し、前記反応管の排気部から排気されたガスを前記吸気部へ供給し、循環させながら前記加熱されたガスにより前記反応管内に配置された被処理基板を加熱することを特徴とする熱処理方法。

【請求項18】

請求項14乃至請求項17のいずれか一において、前記ガスは、窒素または希

ガスを用いること特徴とする熱処理方法。

【請求項19】

請求項14乃至請求項17のいずれか一において、前記ガスは、還元性ガスを用いることを特徴とする熱処理方法。

【請求項20】

請求項14乃至請求項17のいずれか一において、前記ガスは、酸化性ガスを用いることを特徴とする熱処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、熱処理方法及びそれを適用した熱処理装置に関する。特に本発明は、ランプなどを用いた発熱体からの輻射によりガスを加熱し、加熱されたガスにより被処理基板又は被処理基板上の形成物を加熱する熱処理方法及び熱処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体製造工程において、半導体又は半導体基板に対する酸化、拡散、ゲッタリング、イオン注入後の再結晶化を目的とした熱処理は必須な工程となっている。これらの熱処理には、ホットウォール型の横型又は縦型のファーネスアニール炉が代表的な熱処理装置として用いられている。

【0003】

横型又は縦型のファーネスアニール炉は、多数の基板を一括して処理するバッチ処理を前提としている。例えば、従来の縦型熱処理装置は、石英で形成されたサセプタに被処理基板を水平かつ平行に載置して、上下駆動するエレベータにより反応管への出し入れを行っている。ベルジャー型の反応管の外周部にはヒーターが設置され、当該ヒーターにより被処理基板を加熱する仕組みとなっている。従って、その構成上、所定の加熱温度に達するまでの昇温時間及び、取り出し可能な温度まで冷却する降温時間は比較的長い時間を必要としている。

【0004】

しかしながら、集積回路に用いるMOSトランジスタなどは、その微細化に伴って極めて精密な加工精度が要求されている。特に、浅い接合の形成には不純物の拡散を最低限にとどめる必要がある。前述のファーネスアニール炉のように昇温及び降温に時間がかかる工程は、浅い接合の形成を困難にしている。

## 【0005】

瞬間熱アニール (Rapid Thermal Anneal:以下、RTAと記す) 法は急速加熱及び急速冷却を行う熱処理技術として開発されたものである。RTA法は赤外線ランプなどを用いて被処理基板又は被処理基板上の形成物を急速に加熱し、短時間で熱処理を行うことが可能である。

## 【0006】

一方、近年では液晶表示装置に見られるように、ガラス基板上に集積回路を形成する技術も開発されている。ここで用いる薄膜トランジスタ (以下、TFTという) は、ガラス基板上形成した多結晶半導体膜を用いて形成されるものであり、その製造工程においても熱処理は必要なものとされている。しかし、ガラス基板は歪み点がせいぜい 600~700°C 程度であり、耐熱性が悪く、熱衝撃で簡単に割れてしまうという欠点を有している。

## 【0007】

## 【発明が解決しようとする課題】

従来の縦型又は横型のファーネスアニール炉では、集積回路を形成するための基板が半導体であれ、ガラス又はセラミックのような材料であれ、基板のサイズが大型化すると、熱処理温度の均一性を確保することが難しくなる。基板内及び基板間の温度の均一性を確保するためには、反応管内に流すガスの流体としての特性を考えて水平かつ平行に載置する被処理基板の間隔 (ピッチ) を広くする必要がある。例えば、基板の一辺が 500mm を超えると、基板間隔は 30mm 以上開ける必要があるとされている。

## 【0008】

従って、被処理基板が大型化すると、必然的に装置が大型化してしまう。また、大量の基板を一括して処理するため、それだけで重量が増し、被処理基板を載置するためのサセプタも強固なものとする必要がある。そのために、さらに重量

が増し、被処理基板を搬出入する機械の動作も遅くなる。さらに、熱処理装置が占める床面積の増大のみでなく、床の耐荷重を確保するために建物の建築コストにまで影響を及ぼす。このように、装置の大型化は悪循環を及ぼす。

## 【0009】

一方、RTA法は枚葉式の処理が前提であり、装置の荷重が極端に増すということはない。しかし、被処理基板及びその上の形成物の特性により、加熱手段として用いるランプ光の吸収率に差異が生じる。例えば、ガラス基板上に金属配線のパターンが形成されている場合には、金属配線が優先的に加熱され、局所的に歪みが生じて、ひいてはガラス基板が割れてしまうといった現象が発生する。そのために、熱処理に当たっては、昇温速度を調整するなど複雑な制御が要求される。

## 【0010】

本発明は、上記問題点を解決することを目的とし、ガラスなど耐熱性の低い基板を用いた半導体装置の製造工程において、基板を変形させることなく、短時間の熱処理で半導体膜に添加した不純物元素の活性化や、半導体膜のゲッタリング処理をする方法と、そのような熱処理を可能とする熱処理装置を提供することを目的とする。

## 【0011】

## 【課題を解決するための手段】

上記問題点を解決するために、本発明の熱処理装置の構成は、反応管の上流側からガスを供給する手段と、反応管の上流側においてガスを加熱する手段と、反応管の下流側において被処理基板を保持する手段と、前記ガスを前記反応管の下流側から上流側へ循環させる手段とを備えている。

## 【0012】

上記構成の他に、ガスを吸入する吸気部と、吸入した前記ガスを排気する排気部とを備えた反応管と、反応管内において吸入した前記ガスを加熱する加熱手段と、加熱されたガスを反応管内に配置される被処理基板に供給する手段と、排気部から排出した前記ガスを吸気部へ循環させる手段とを備えていても良い。

## 【0013】

反応管は内壁からの汚染を防ぐため、石英又はセラミックで形成する。加熱手段はハロゲンランプ、メタルハライドランプ、高圧水銀ランプ、高圧ナトリウムランプ、キセノンランプから選ばれた一種又は複数種を適用するが、当該ランプからの輻射光で直接ガスを加熱すると効率が悪くなる。好ましくは、加熱手段を発熱手段と、該発熱手段からの熱輻射を吸収する吸熱体とを組み合わせて形成する。この組合せにより、吸熱体に輻射光を吸収させて加熱することにより、そこからの熱伝導によってガスを加熱することができる。吸熱体がガスと接する面積を大きくすることにより、熱の伝達効率を良くすることができる。

## 【0014】

また、被処理基板の加熱に用いたガスを循環させることにより、ガスを加熱する電力を節約することができる。循環するガスの一部は排気されても良いが、新たに導入されるガスを予熱するための熱源として利用することができる。

## 【0015】

加熱され、循環するガスによる予熱効果を積極的に利用する構成として、反応管の上流側から熱交換器を介してガスを供給する手段と、反応管の上流側にてガスを加熱する手段と、反応管の下流側にて被処理基板を保持する手段と、ガスを反応管の下流側から熱交換器へ供給する手段とを備えた熱処理装置とすることもできる。

## 【0016】

また、上記構成の他に、ガスを吸入する吸気部と、吸入した前記ガスを排気する排気部とを有する反応管と、吸気部の前段に設けられた熱交換器と、熱交換器を通してガスを供給する手段と、反応管内において、吸入した前記ガスを加熱する加熱手段と、加熱手段により加熱されたガスを反応管内に配置される被処理基板に供給する手段と、排気部から排出したガスを熱交換器に供給する手段とを備えていても良い。

## 【0017】

上記問題点を解決するために、本発明の熱処理方法は、反応管の上流側からガスを供給し、その上流側に設けられた加熱手段によりガスを加熱して下流側に流し、当該ガスを前記反応管の下流側から上流側へ循環させながら反応管の下流側

に設けられた被処理基板を加熱する方法である。

## 【0018】

また、上記方法の他に、反応管の吸気部からガスを供給し、反応管内に設けられた加熱手段によりガスを加熱して下流側へ流し、反応管の排気部から当該ガスを排気した後再度前記吸気部から供給し、ガスを循環させながら反応管内に配置された被処理基板を加熱する方法である。

## 【0019】

加熱したガスで被処理基板を加熱することにより、被処理基板上に形成物の材質に影響されず、均一性良く加熱することができる。それにより、局所的な歪みを発生させることなく熱処理をすることが可能で、ガラスなども脆い基板でも急速加熱による熱処理を完遂することが容易となる。

## 【0020】

本発明において適用されるガスは、窒素または希ガスによる不活性気体、或いは水素などの還元性気体、或いは酸素、亜酸化窒素、二酸化窒素などの酸化性気体を適用することができる。

## 【0021】

窒素または希ガスによる不活性気体を用いれば、非晶質半導体膜の結晶化のための熱処理、ゲッタリングを目的とした熱処理、イオン注入又はイオンドーピング（質量分離することなくイオンを注入する方法）後の再結晶化及び活性化を目的とした熱処理に適用することができる。

## 【0022】

水素などの還元性気体として、水素又は不活性気体で希釈された水素を用いると、半導体の欠陥（ダングリングボンド）を補償することを目的とした水素化処理を行うことができる。

## 【0023】

酸素、亜酸化窒素、二酸化窒素などの酸化性気体を用いると、半導体基板又は半導体膜に酸化膜を形成することができる。

## 【0024】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図1及び図2を用いて説明する。図1は本発明の熱処理方法を適用した熱処理装置の一実施形態を示す断面図であり、図2はそれに対応する上面図を示している。対応を明瞭にするために、図1及び図2において共通する符号を用いている。

## 【0025】

図1及び図2に示す熱処理装置は、反応管105に発熱体102と吸熱体104から成る加熱手段105、発熱体の制御装置103、ガス供給手段109、110、圧力制御弁111が備えられている。

## 【0026】

反応管は内壁からの汚染を防ぐため、石英又はセラミックを用いる。石英は反応管材質として通常よく用いられる部材である。また、基板のサイズが大型化した場合には、そのサイズに合わせて石英で反応管を形成するのは難しいので、その場合にはセラミックを適用すれば良い。

## 【0027】

加熱手段105において、発熱体102にはハロゲンランプ、メタルハライドランプ、高圧水銀ランプ、高圧ナトリウムランプ、キセノンランプなどを用いる。発熱体の制御装置103はこの発熱体102を所定の温度、又は所定の熱輻射が得られるように制御するためのものである。ガスはこの発熱体102の輻射を吸収して、または発熱体102とガスが接して加熱される。また、同図にあるように、発熱体102の周囲に石英、SiC、Siなどで形成される吸熱体104を設け、発熱体102からの輻射を一旦吸熱体104で吸収し、吸熱体104からの熱伝導によりガスを加熱しても良い。この時、吸熱体104の表面にフィンを設け、ガスとの接触面積を大きくするような構造としておくことが望ましい。このように、加熱手段105は反応管101の上流側に設けられる。

## 【0028】

オリフィス板106、107は、発熱体102が設けられた領域と、基板120が設置される領域との間に設けられる。これらのオリフィス板106、107には細孔が設けられ、ガスの流速及び流れる方向を制御する目的で設けられている。オリフィス板106はガスを発熱体102が設置された領域に滞留させる目

的をもって設置され、オリフィス板107は基板102と垂直方向からガスを流入させるために設けている。

## 【0029】

ガスはガス供給手段109からノズル108により熱交換器119を介して吸気部112に導かれ、反応管101内に導入される。反応管101に導入されたガスは発熱体102が設けられた領域、オリフィス板106、107を通過して、反応管101の下流側に位置する排気部113から排出される。排出されたガスは、連結間管114により上流側に戻され、熱交換器119を通って吸気部112から再度反応管101に流入する。こうして循環するようになっている。また、一部は圧力制御弁111から外部へ放出される。圧力制御弁111は所定の圧力に反応管101内を保持するために設ける。

## 【0030】

熱交換器119では加熱されたガスが循環し、ノズル108を加熱することにより、ガス供給手段109から供給されるガスをあらかじめ予熱することができる。吸気部112において、ノズル108の先端からガスを噴射することにより、同図で示す矢印の方向に対流が発生し、循環して熱交換器119に戻ってきた加熱されたガスの一部が再度吸気部112から反応管101に流入する。

## 【0031】

勿論、循環するガスは当初の温度よりも低くなるが、このような閉じた系とすることで熱効率を高め、消費する電力を節約することができる。連結管114の外周にはヒーター116を設けておいても良い（115はヒーターの電源である）。

## 【0032】

被処理基板120は反応管内で保持手段117上に設置する。保持手段117の構造は被処理基板120との接触面積を極力小さくする構成とする。反応管101の一端はゲートバルブ118が設けられ、開閉させることにより被処理基板の出し入れを行っている。被処理基板120はカセット122に載置され、反応管101への搬出入は搬送手段121により行う。搬送手段121、カセット122は、周辺環境から被処理基板120が汚染されるのを防ぐため、清浄な空気

を送風するクリーンユニット123の下に設置することが望ましい。

【0033】

以下に、熱処理の手順の一例を示す。被処理基板が保持手段117にセットされ、ゲートバルブを閉じた後、ガス供給手段から加熱用のガスを供給する。反応管内に供給したガスを充満させ置換するまで保持した後、加熱手段105によりガスを加熱する。加熱されたガスはオリフィス板106、107を通過して、被処理基板120に照射され加熱する。その後、ガスを排気部113から熱交換器119を通過して再度吸気部112から反応管101内に供給される。この加熱されたガスに循環により被処理基板120の熱処理を行う。

【0034】

所定の時間が経過した後、加熱手段105によるガスの加熱を終了させる。そして、被処理基板120を冷却するために冷却用のガスをガス供給手段110からガスを供給する。この冷却用ガスを流入させることにより、反応管内のガスの温度が低下して、被処理基板120の温度を低下させることができる。その後、ゲートバルブ118を開け、搬送手段により被処理基板120を取り出す。以上のようにして、被処理基板120の熱処理を短時間で行うことができる。

【0035】

本発明の熱処理方法及びそれを適用した熱処理装置はバッチ処理を前提としているが、ガスを加熱して被処理基板を直接加熱するため比較的短時間で昇温させ、また、高温状態の被処理基板を室温程度のガスで冷却することにより速やかに降温させることができる。勿論、ガラスなど熱衝撃に弱い基板を用いる場合には注意が必要であるが、従来のRTAにおけるように、ランプ光により数マイクロ秒～数秒の瞬間加熱とは異なり、急激な加熱により基板を破壊してしまうことはない。

【0036】

加熱又は冷却に用いるガスは、熱処理の用途によって選択することができる。窒素または希ガスによる不活性気体を用いれば、非晶質半導体膜の結晶化のための熱処理、ゲッタリングを目的とした熱処理、イオン注入又はイオンドーピング（質量分離することなくイオンを注入する方法）後の再結晶化及び活性化を目的

とした熱処理に適用することができる。水素などの還元性気体として、水素又は不活性気体で希釈された水素を用いると、半導体の欠陥（ダングリングボンド）を補償することを目的とした水素化処理を行うことができる。酸素、亜酸化窒素、二酸化窒素などの酸化性気体を用いると、半導体基板又は半導体膜に酸化膜を形成することができる。

## 【0037】

処理能力を向上させるためには、図3に示す構成を適用することができる。図3において、反応管201～204は図1と同様なものとする。加熱手段208及びその制御装置207、圧力制御弁212、ガス供給手段209、211が備えられている。

## 【0038】

熱交換器は反応管と1対1で対応させる必要はなく、同図で示すように、熱交換器205に反応管201、202を、熱交換器206に反応管203、204を対応させても良い。複数の反応管において同じ温度で熱処理を行うことを前提にすれば、このような構成も可能である。それぞれの反応管にはガス供給手段209からノズル210を介してガスが供給される。その他、搬送手段213、カセット214は図1と同様なものが採用される。

## 【0039】

図3に示す構成の熱処理装置は、反応管201、202と反応管203、204とで異なる温度で、かつ、異なる時間で熱処理をすることを可能にしている。

## 【0040】

また、図4で示す熱処理装置は、熱交換器を省略した形態を示している。ここでは、反応管301、302において、加熱手段308、制御装置307、を共通なものとしている。また、反応管303、304において加熱手段309、制御装置310を共通にしている。その他、圧力制御弁312、ガス供給手段310、311が備えられている。

## 【0041】

熱交換器は省略されているが、ガス供給手段309から加熱用にガスを供給し、加熱手段305、308で加熱されたガスを循環させる構成は、図1と同様で

ある。その他、搬送手段313、カセット314は図1と同様なものが採用される。

【0042】

図5は複数の反応管を備えた熱処理装置の構成を示している。反応管401、加熱手段411、制御装置412、ガス供給手段412、414、熱交換器413は図1又は図3、図4で説明する構成のいずれか一つを採用することが可能である。同様に反応管402、加熱手段416、制御装置415、ガス供給手段417、419、熱交換器418が備えられている。搬送手段403はカセット404から被処理体を各反応管に搬出入するためのものである。406a～406cも被処理体を備えたカセットであり、搬送手段405によりカセット404に被処理体を供給する。

【0043】

図5は大量バッチ処理方式による熱処理装置の構成の一例を示したが、この構成及び配置に限定される必要はなく、その他任意の配置をとることも可能である。本実施の形態で示す熱処理装置は、バッチ処理の方式であり、加熱したガスにより被処理基板を加熱する方式なので、基板のサイズが大型化しても均一性良く熱処理をすることができる。例えば、一边の長さが1000mmを超える基板の熱処理に対しても適用することができる。

【0044】

このような本発明の熱処理方法及びそれを用いた熱処理装置の特徴は、被処理基板の形態や大きさの制約を受けない。枚葉処理により、被処理基板が大型化しても頑強なサセプタを必要とせず、その分だけ小型化を図ることができる。また、加熱手段も大規模なものは必要とせず、消費電力を節約することができる。

【0045】

【実施例】

【実施例1】

図8を用いて本発明の熱処理方法の一実施例を説明する。本実施例では図1で示す熱処理装置を用いる。図8は処理の進展を模式的に示すグラフである。加熱用及び冷却用ガスとして窒素( $N_2$ )を用いる。また、発熱体にはハロゲンラン

プを用いる。

## 【0046】

被処理基板は搬送手段によりカセットから反応管内にセットされ、その後ゲートバルブを閉じる。その間、反応管内にはガス供給手段から窒素が供給され続け、外気の混入が最小限となるよう配慮しておく。ゲートバルブを閉じた後、その窒素流量を増加させ、反応管内を窒素で充満させ置換する。

## 【0047】

そして、窒素流量を増加させ、発熱体であるハロゲンランプを点灯させ、窒素を加熱する。加熱する温度は発熱体に供給する電力、或いはその電力と窒素の供給量により調節することができる。加熱温度は概略100～1000℃程度まで可能である。

## 【0048】

加熱した窒素で反応管の下流側に置かれた被処理基板を加熱し、熱処理を行う。その時間は任意なものとする。排気部に達した窒素の温度は低下するが、循環させ、再度発熱体により加熱して被処理体の加熱に用いる。その後、ハロゲンランプを消灯するまでの期間が実質的な熱処理期間となる。

## 【0049】

ハロゲンランプを消灯した後、ガス供給手段より冷却用窒素を供給し、被処理基板の温度を下げる。この時、加熱用窒素の流量はそのまま一定を保つか、或いは低下させても良い。いずれにしても、ハロゲンランプは消灯しているので、反応管内の窒素の温度は低下し、それと共に被処理基板の温度も低下する。降温の速度は最初急激であり、その後徐々に低下する。凡そ200℃以下となれば、ゲートバルブを開けて被処理基板を取り出す。その段階になれば、冷却用窒素の供給は止めても良い。

## 【0050】

このような一連の処理を一サイクルとし、繰り返すことで多数の基板を連続して処理することができる。

## 【0051】

[実施例2]

半導体膜の結晶化及びゲッタリングに伴う熱処理を、本発明の熱処理方法及びそれを適用した熱処理装置を用いて行う一例を図6を用いて説明する。

## 【0052】

図6 (A)において、基板500はその材質に特段の限定はないが、好ましくはバリウムホウケイ酸ガラスやアルミノホウケイ酸ガラス、或いは石英などを用いることができる。基板500の表面には、ブロッキング層501として無機絶縁膜を10～200nmの厚さで形成する。好適なブロッキング層の一例は、プラズマCVD法で作製される酸化窒化シリコン膜であり、SiH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>Oから作製される第1酸化窒化シリコン膜を50nmの厚さに形成し、SiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oから作製される第2酸化窒化シリコン膜を100nmの厚さに形成したもの適用する。ブロッキング層501はガラス基板に含まれるアルカリ金属がこの上層に形成する半導体膜中に拡散しないために設けるものであり、石英を基板とする場合には省略することも可能である。

## 【0053】

ブロッキング層501の上に形成する非晶質構造を有する半導体膜（第1の半導体膜）502は、シリコンを主成分とする半導体材料を用いる。代表的には、非晶質シリコン膜又は非晶質シリコンゲルマニウム膜などが適用され、プラズマCVD法や減圧CVD法、或いはスパッタ法で10～100nmの厚さに形成する。良質な結晶を得るために、非晶質構造を有する半導体膜502に含まれる酸素、窒素などの不純物濃度を $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下に低減させておくと良い。これらの不純物は非晶質半導体の結晶化を妨害する要因となり、また結晶化後においても捕獲中心や再結合中心の密度を増加させる要因となる。そのために、高純度の材料ガスを用いることはもとより、反応室内の鏡面処理（電界研磨処理）やオイルフリーの真空排気系を備えた超高真空対応のCVD装置を用いることが望ましい。

## 【0054】

その後、非晶質構造を有する半導体膜502の表面に、結晶化を促進する触媒作用のある金属元素を添加する。半導体膜の結晶化を促進する触媒作用のある金属元素としては鉄(Fe)、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、ルテニウム

(R u)、ロジウム (R h)、パラジウム (P d)、オスミウム (O s)、イリジウム (I r)、白金 (P t)、銅 (C u)、金 (A u) などであり、これらから選ばれた一種または複数種を用いることができる。代表的にはニッケルを用い、重量換算で 1 ~ 1 0 0 ppm のニッケルを含む酢酸ニッケル塩溶液をスピナーで塗布して触媒含有層 503 を形成する。ニッケルの含有量が多い程短時間で結晶化を遂行することができる。

## 【0055】

この場合、当該溶液の馴染みをよくするために、非晶質構造を有する半導体膜 502 の表面処理として、オゾン含有水溶液で極薄い酸化膜を形成し、その酸化膜をフッ酸と過酸化水素水の混合液でエッチングして清浄な表面を形成した後、再度オゾン含有水溶液で処理して極薄い酸化膜を形成しておく。シリコンなど半導体膜の表面は本来疎水性なので、このように酸化膜を形成しておくことにより酢酸ニッケル塩溶液を均一に塗布することができる。

## 【0056】

勿論、触媒含有層 503 はこのような方法に限定されず、スパッタ法、蒸着法、プラズマ処理などにより形成しても良い。また、触媒含有層 503 は非晶質構造を有する半導体膜 502 を形成する前、即ちブロッキング層 501 上に形成しておいても良い。

## 【0057】

非晶質構造を有する半導体膜 503 と触媒含有層 503 とを接触した状態を保持したまま結晶化のための熱処理を行う。熱処理は図 1 で示す構成の熱処理装置を用い、実施例 1 で示す手順により行うことができる。また、多数の基板を効率良く処理するためには図 3 又は図 4 の装置を用いることが望ましい。

## 【0058】

加熱用のガスには窒素、アルゴンなどを用いることができる。結晶化は、ガスを 600 ~ 800 °C、好ましくは 650 °C の温度に加熱して、10 ~ 3600 秒、好ましくは 90 秒の熱処理を行う。また、この熱処理に先立ち、500 °C にて 60 秒程度の熱処理を行い、非晶質構造を有する半導体膜 502 が含有する水素を放出させておくと良い。

## 【0059】

非晶質半導体膜の結晶化のための熱処理に対し、RTAを用いた場合には、結晶化に伴って半導体膜の透過率が減少し、ランプ光の強度を逐々に調節する必要があるが、本発明による熱処理はガスによる加熱であるためそのような特別の配慮をする必要がない。

## 【0060】

こうして、図6 (B) に示す結晶構造を有する半導体膜（第1の半導体膜）504を得ることができる。

## 【0061】

さらに結晶化率（膜の全体積における結晶成分の割合）を高め、結晶粒内に残される欠陥を補修するためには、図6 (C) で示すように結晶構造を有する半導体膜504に対してレーザー光を照射することも有効である。レーザーには波長400nm以下のエキシマレーザー光や、YAGレーザーの第2高調波、第3高調波を用いる。いずれにしても、繰り返し周波数10～1000Hz程度のパルスレーザー光を用い、当該レーザー光を光学系にて100～400mJ/cm<sup>2</sup>に集光し、90～95%のオーバーラップ率をもって結晶構造を有する半導体膜504に対するレーザー処理を行っても良い。

## 【0062】

このようにして得られる結晶構造を有する半導体膜（第1の半導体膜）505には、触媒元素（ここではニッケル）が残存している。それは膜中において一様に分布していないにしろ、平均的な濃度とすれば、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ を越える濃度で残存している。勿論、このような状態でも TFT をはじめ各種半導体素子を形成することが可能であるが、以降に示す方法でゲッタリングにより当該元素を除去する。

## 【0063】

まず、図6 (D) に示すように結晶構造を有する半導体膜605の表面に薄いバリア層506を形成する。バリア層の厚さは特に限定されないが、簡便にはオゾン水で処理することにより形成されるケミカルオキサイドで代用しても良い。また、硫酸、塩酸、硝酸などと過酸化水素水を混合させた水溶液で処理しても同

様にケミカルオキサイドを形成することができる。他の方法としては、酸化雰囲気中でのプラズマ処理や、酸素含有雰囲気中での紫外線照射によりオゾンを発生させて酸化処理を行っても良い。また、クリーンオーブンを用い、200～350℃程度に加熱して薄い酸化膜を形成しバリア層としても良い。或いは、プラズマCVD法やスパッタ法、蒸着法などで1～5nm程度の酸化膜を堆積してバリア層としても良い。

#### 【0064】

その上にプラズマCVD法やスパッタ法で半導体膜（第2の半導体膜）507を25～250nmの厚さで形成する。代表的には非晶質シリコン膜を選択する。この半導体膜507は後に除去するので、結晶構造を有する半導体膜505とエッティングの選択比を高くするため、密度の低い膜としておくことが望ましい。例えば、非晶質シリコン膜をプラズマCVD法で形成する場合には、基板温度を100～200℃程度として、膜中に水素を25～40原子%含ませておく。スパッタ法を採用する場合も同様であり、基板温度を200℃以下としてアルゴンと水素の混合ガスでスパッタすることにより水素を多量に膜中に含ませることができる。また、スパッタ法やプラズマCVD法で成膜時に希ガス元素を添加させておくと、膜中に希ガス元素を同時に取り込ませることができる。こうして取り込まれる希ガス元素をもっても、ゲッタリングサイトを形成することができる。

#### 【0065】

その後、イオンドープ法又はイオン注入法により、半導体膜507に希ガス元素が $1 \times 10^{20} \sim 2.5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ の濃度で含まれるように添加する。加速電圧は任意なものとするが、希ガス元素であるため注入される希ガスのイオンが半導体膜507とバリア層506を通り抜け、一部が結晶構造を有する半導体膜505にまで達しても構わない。希ガス元素は半導体膜中でそれ自体は不活性であるため、半導体膜505の表面近傍において $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 程度の濃度で含まれている領域があっても、素子特性にさほど影響はない。また、半導体膜107を形成する段階で希ガス元素を添加しておいても良い。

#### 【0066】

希ガス元素としてはヘリウム(He)、ネオン(Ne)、アルゴン(Argon)、

クリプトン (Kr) 、キセノン (Xe) から選ばれた一種または複数種を用いる。本発明はゲッタリングサイトを形成するためにこれら希ガス元素をイオンソースとして用い、イオンドープ法或いはイオン注入法で半導体膜に注入する。これら希ガス元素のイオンを注入する意味は二つある。一つは注入によりダンギングボンドを形成し半導体膜に歪みを与えることであり、他の一つは半導体膜の格子間に当該イオンを注入することで歪みを与えることである。不活性ガスのイオンを注入はこの両者を同時に満たすことができるが、特に後者はアルゴン (Ar) 、クリプトン (Kr) 、キセノン (Xe) などシリコンより原子半径の大きな元素を用いた時に顕著に得られる。

## 【0067】

ゲッタリングを確実に成し遂げるにはその後熱処理をすることが必要となる。熱処理は、図1で示す構成の熱処理装置を用い、実施例1で示す手順により行うことができる。また、多数の基板を効率良く処理するためには図3又は図4の装置を用いることが望ましい。加熱用のガスには窒素、アルゴンなどを用いることができる。結晶化は、ガスを500～700℃の温度に加熱して、30～3600秒の熱処理を行う。

## 【0068】

ゲッタリングは、被ゲッタリング領域（捕獲サイト）にある触媒元素が熱エネルギーにより放出され、拡散によりゲッタリングサイトに移動する。従って、ゲッタリングは処理温度に依存し、より高温であるほど短時間でゲッタリングが進むことになる。図6 (E) において矢印で示すように、触媒元素が移動する方向は半導体膜の厚さ程度の距離であり、ゲッタリングは比較的短時間で完遂する。

## 【0069】

尚、この熱処理によっても  $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  以上の濃度で希ガス元素を含む半導体膜507は結晶化することはない。これは、希ガス元素が上記処理温度の範囲においても再放出されず膜中に残存して、半導体膜の結晶化を阻害するためであると考えられる。

## 【0070】

その後、非晶質半導体507を選択的にエッティングして除去する。エッティング

の方法としては、 $\text{ClF}_3$ によるプラズマを用いないドライエッティング、或いはヒドラジンや、テトラエチルアンモニウムハイドロオキサイド（化学式  $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$ ）を20～30%、好ましくは25%の濃度含む水溶液を用い、50°Cに加熱して行うことにより容易に除去することができる。この時バリア層506はエッティングストップとなり、殆どエッティングされずに残る。バリア層506はその後フッ酸により除去すれば良い。

## 【0071】

こうして図5（F）に示すように触媒元素の濃度が  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  以下にまで減じられた結晶構造を有する半導体膜508を得ることができる。こうして形成された結晶構造を有する半導体膜508は、触媒元素の作用により細い棒状又は細い扁平棒状結晶として形成され、その各々の結晶は巨視的に見ればある特定の方向性をもって成長している。このような結晶構造を有する半導体膜508はTFTの活性層のみでなく、フォトセンサや太陽電池の光電変換層にも適用することができる。

## 【0072】

## [実施例3]

実施例2により作製される半導体膜を用いてTFTを作製する方法を図7を用いて説明する。本実施例にて説明するTFTの作製工程においても本発明の熱処理方法及び熱処理装置を用いることができる。

## 【0073】

まず、図6（A）において、アルミノホウケイ酸ガラスまたはバリウムホウケイ酸ガラスなどによる透光性の基板700上に実施例2で作製された半導体膜から、島状に分離された半導体膜702、703を形成する。また、基板700と半導体膜との間には、窒化シリコン、酸化シリコン、窒化酸化シリコンから選ばれた一つまたは複数種を組み合わせた第1絶縁膜701を50～200nmの厚さで形成する。

## 【0074】

その後、図7（B）に示すように、そして、第2絶縁膜704を80nmの厚さで形成する。第2絶縁膜704はゲート絶縁膜として利用するものであり、プラ

ズマCVD法またはスパッタ法を用いて形成する。第2絶縁膜704として、SiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>OにO<sub>2</sub>を添加させて作製する酸化窒化シリコン膜は膜中の固定電荷密度を低減させることができるとなり、ゲート絶縁膜として好ましい材料である。勿論、ゲート絶縁膜はこのような酸化窒化シリコン膜に限定されるものでなく、酸化シリコン膜や酸化タンタル膜などの絶縁膜を単層または積層構造として用いても良い。

## 【0075】

第2絶縁膜704上にゲート電極を形成するための第1導電膜を形成する。第1導電膜の種類に限定はないが、アルミニウム、タンタル、チタン、タンクスチン、モリブデンなどの導電性材料またはこれらの合金を適用することができる。このような材料をもちいたゲート電極の構造は、窒化タンタル又は窒化チタンとタンクスチン又はモリブデンタンクスチン合金の積層構造、タンクスチンとアルミニウム又は銅の積層構造などを採用することができる。アルミニウムを用いる場合には、耐熱性を高めるためにチタン、スカンジウム、ネオジウム、シリコン、銅などを0.1～7重量%添加したものを用いる。第1の導電膜は300nmの厚さで形成する。

## 【0076】

その後、レジストパターンを形成し、ゲート電極705、706を形成する。また、図示しないが、ゲート電極に接続する配線も同時に形成することができる。

## 【0077】

図7(C)に示すように、このゲート電極をマスクとして、自己整合的にn型半導体領域を形成する。ドーピングはイオン注入法又はイオンドーピング法（ここでは、質量分離しないイオンを注入する方法をいう）で燐を注入する。この領域の燐濃度は $1 \times 10^{20} \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ の範囲となるようにする。

## 【0078】

続いて、図7(D)に示すように一方の半導体膜703を覆うマスク709を形成し、半導体膜702にp型半導体領域710を形成する。添加する不純物は硼素を用い、n型を反転するために燐よりも1.5～3倍の濃度で添加する。こ

の領域の磷濃度は  $1.5 \times 10^{20} \sim 3 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  の範囲となるようにする。

## 【0079】

その後、図7 (E) に示すように酸化窒化シリコン膜または窒化シリコン膜から成る第3絶縁膜711をプラズマCVD法で50nmの厚さに形成する。

## 【0080】

そして、n型及びp型の半導体領域の結晶性の回復と、活性化のために熱処理を行う。熱処理は、図1で示す構成の熱処理装置を用い、実施例1で示す手順により行うことができる。また、多数の基板を効率良く処理するためには図3又は図4の装置を用いることが望ましい。

## 【0081】

加熱用のガスには窒素、アルゴンなどを用いることができる。活性化は、ガスを450～700°Cの温度に加熱して、10～3600秒の熱処理を行う。また、ガスに水素を添加した還元雰囲気としても良い。添加した水素により水素化を同時に行うこともできる。

## 【0082】

ガラス基板上にゲート電極が形成された状態でRTA法による熱処理を行った場合には、ゲート電極がランプ光の輻射を選択的に吸収して、局所的に加熱されガラス基板を破損してしまう場合がある。本発明による熱処理はガスによる加熱であるためそのような影響がない。

## 【0083】

図7 (F) に示す第4絶縁膜712は、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコンで形成する。または、ポリイミドまたはアクリルなどの有機絶縁物材料で形成し表面を平坦化しても良い。

## 【0084】

次いで、第4絶縁膜712の表面から各半導体膜の不純物領域に達するコンタクトホールを形成し、Al、Ti、Taなどを用いて配線を形成する。図7 (F)において713、714はソース線またはドレイン電極となる。こうしてnチャネル型TFTとpチャネル型TFTを形成することができる。ここではそれぞれのTFTを単体として示しているが、これらのTFTを使ってCMOS回路や

NMOS回路、PMOS回路を形成することができる。

【0085】

[実施例4]

本発明の熱処理方法及それを適用した熱処理装置において、加熱するガスに不活性ガスと、酸素、亜酸化窒素、二酸化窒素から選ばれた一種を混合し、酸化性ガスとすることで、半導体の表面に酸化膜を形成することが可能である。

【0086】

図9はその一例であり、加熱用のガスとして窒素に酸素を1～30%混合し、850～1000°Cの熱処理を行うことにより、単結晶シリコン基板に素子分離用のフィールド酸化膜やゲート絶縁膜を形成することができる。

【0087】

図9 (A)において、比較的高抵抗（例えば、n型、 $10\Omega\text{cm}$ 程度）の単結晶シリコンから成る基板801に、nウェル802、pウェル803を形成する。その後、フィールド酸化膜805を加熱用のガスとして酸素と窒素の混合ガスを用い、本発明の熱処理方法を用いて形成する。このとき、ボロン（B）を選択的にイオン注入法により半導体基板に導入し、チャネルストッパーを形成しても良い。加熱温度は800～1000°Cとする。

【0088】

そして、同様にゲート絶縁膜となる酸化シリコン膜806の形成を行う。フィールド酸化膜805、酸化シリコン膜806の形成に用いる装置は、図1又は図3、又は図4に示す構成の装置のどれを用いても良い。

【0089】

続いて、図9 (B) で示すようにゲート用の多結晶シリコン膜をCVD法により100～300nmの厚さで形成する。このゲート用の多結晶シリコン膜は、低抵抗化するために予め $10^{21}/\text{cm}^3$ 程度の濃度でリン（P）をドープしておいても良いし、多結晶シリコン膜を形成した後で濃いn型不純物を拡散させても良い。ここでは、さらに低抵抗化するためにこの多結晶シリコン膜上にシリサイド膜を50～300nmの厚さで形成する。シリサイド材料は、モリブデンシリサイド（MoS<sub>ix</sub>）、タンゲステンシリサイド（WS<sub>ix</sub>）、タンタルシリサイド（Ta<sub>ix</sub>）等である。

a Six)、チタンシリサイド(Ti Six)などを適用することが可能であり、公知の方法に従い形成すれば良い。そして、この多結晶シリコン膜とシリサイド膜をエッチングしてゲート807、808を形成する。ゲート807、808は、多結晶シリコン膜807a、808aとシリサイド膜807b、808bの2層構造を有している。

## 【0090】

その後、図9(C)に示すように、イオン注入法によりnチャネル型MOSトランジスタのソース及びドレイン領域820、pチャネル型MOSトランジスタのソース及びドレイン領域824を形成する。勿論、これらのソース及びドレイン領域の再結晶化及び活性化を目的とした熱処理にも本発明の熱処理方法及び熱処理装置を適用することができる。加熱温度は700～1000℃、好ましくは950℃となるように加熱用の窒素ガスを加熱手段により加熱する。この熱処理によって、不純物が活性化し、ソース・ドレイン領域の低抵抗化が図られる。

## 【0091】

このようにして、nチャネル型MOSトランジスタ331とpチャネル型MOSトランジスタ330が完成する。本実施形態で説明したトランジスタの構造はあくまで一実施形態であり、図9に示した作製工程及び構造に限定される必要はない。これらのトランジスタを使ってCMOS回路やNMOS回路、PMOS回路を形成することができる。また、シフトレジスタ、バッファ、サンプリング、D/Aコンバータ、ラッチ、などの各種回路を形成することが可能であり、メモリ、CPU、ゲートアレイ、RISCなどの半導体装置を作製することができる。そしてこのような回路は、MOSで構成されることにより高速動作が可能であり、また、駆動電圧を3～5Vとして低消費電力化をすることもできる。

## 【0092】

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、被処理基板の熱処理を、被処理基板の形態や大きさの制約を受けることはなく、被処理基板が大型化しても頑強なサセプタを必要とせず、その分だけ小型化を図ることができる。本発明の熱処理方法及びそれを適用した熱処理装置は、バッチ処理の方式であり、加熱したガスによ

り被処理基板を加熱する方式なので、基板のサイズが大型化しても均一性良く熱処理をすることができ、一边の長さが1000mmを超える基板の熱処理に対しても適用することができる。そのための、加熱手段も大規模なものは必要とせず、小電力化を図った熱処理装置を実現することができる。

【0093】

被処理基板に対する熱処理は、非晶質半導体膜の結晶化、ゲッタリング、不純物の活性化、水素化、半導体表面の酸化などを行うことができる。このような処理を半導体素子の製造工程に組み入れることにより、大面積基板に集積回路を形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の熱処理方法を適用した熱処理装置の一実施形態を示す断面構造図。

【図2】 本発明の熱処理方法を適用した熱処理装置の一実施形態を示す上面構造図。

【図3】 本発明の熱処理方法を適用した熱処理装置の一実施形態を示す断面構造図。

【図4】 本発明の熱処理方法を適用した熱処理装置の一実施形態を示す断面構造図。

【図5】 本発明の熱処理方法を適用した熱処理装置の一実施形態を示す断面構造図。

【図6】 本発明の熱処理方法及び熱処理装置を適用した、半導体膜を作製工程を説明する断面図。

【図7】 本発明の熱処理方法及び熱処理装置を適用した、TFTを作製工程を説明する断面図。

【図8】 本発明の熱処理方法を説明する概念図。

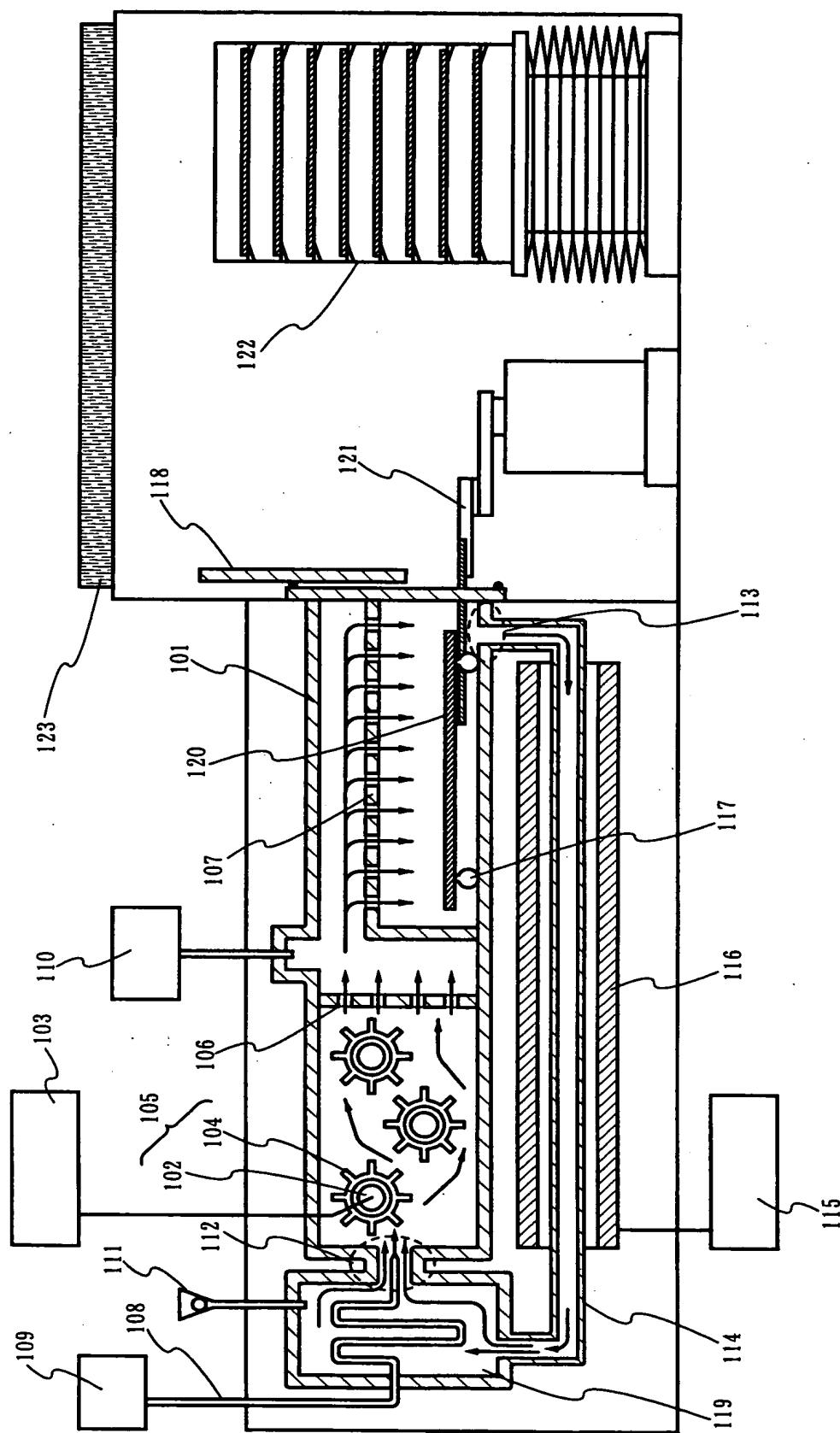
【図9】 本発明の熱処理方法及び熱処理装置を適用した、半導体基板の熱処理工程を説明する断面図。

特2001-075756

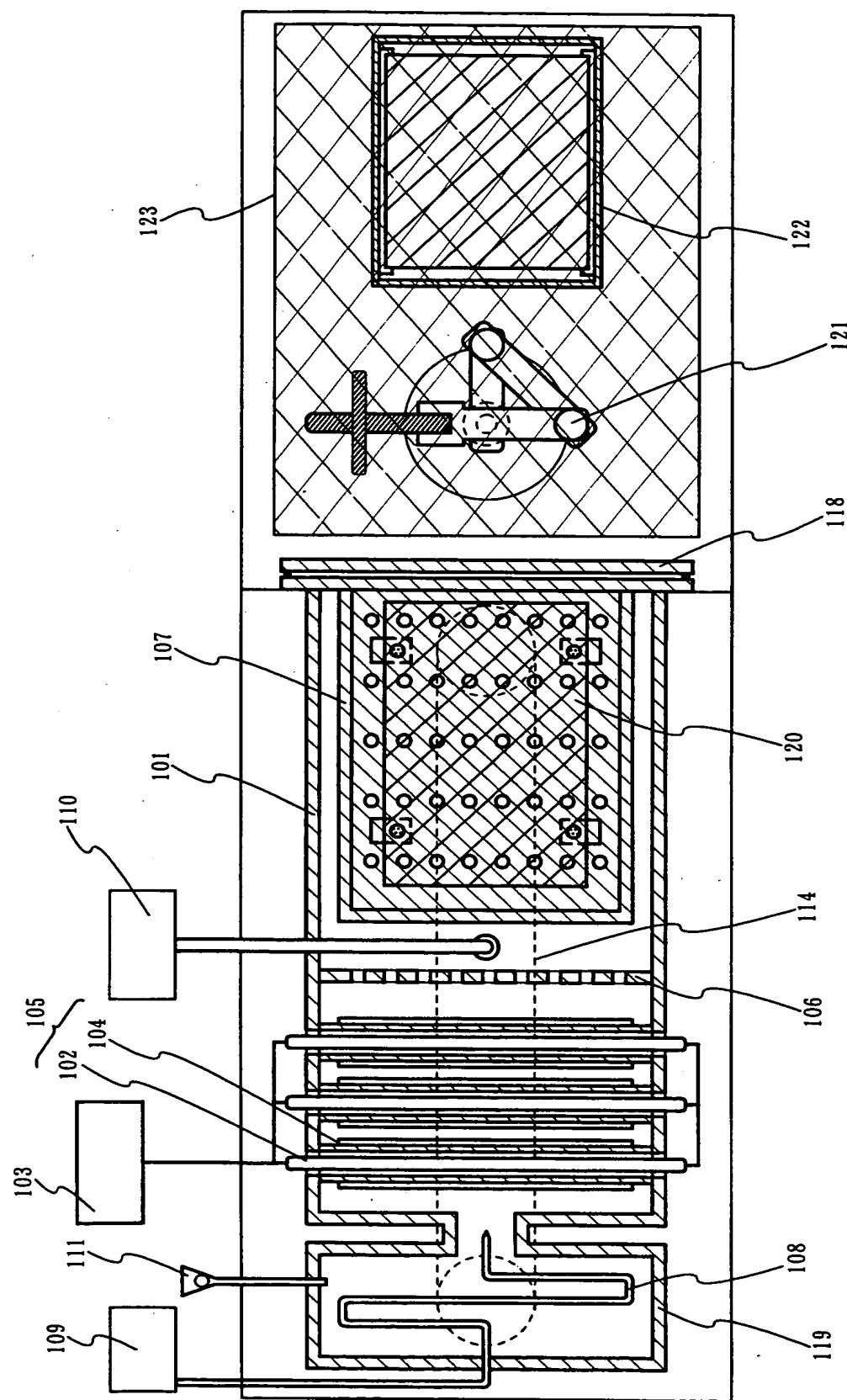
【書類名】

図面

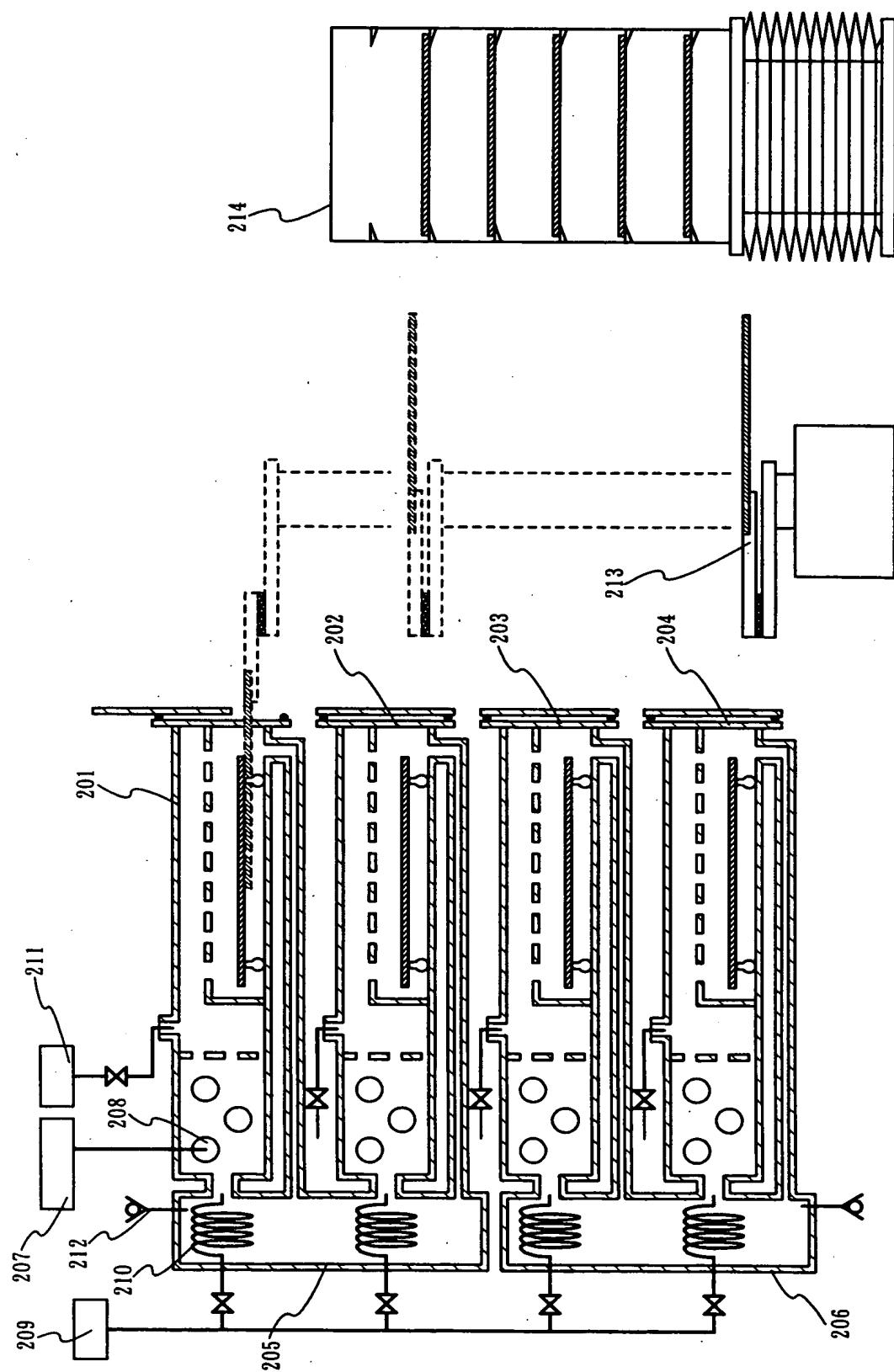
【図1】



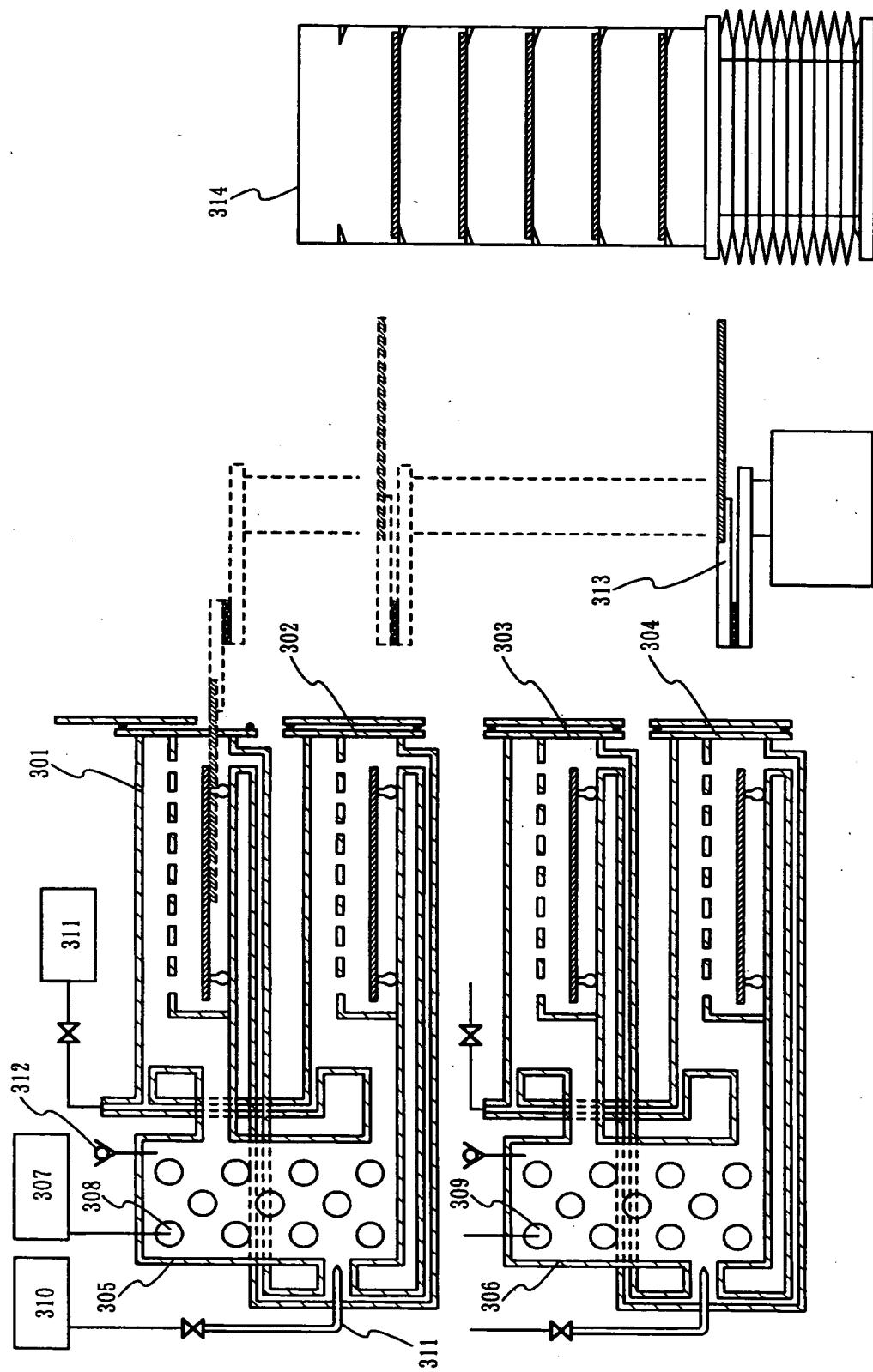
【図2】



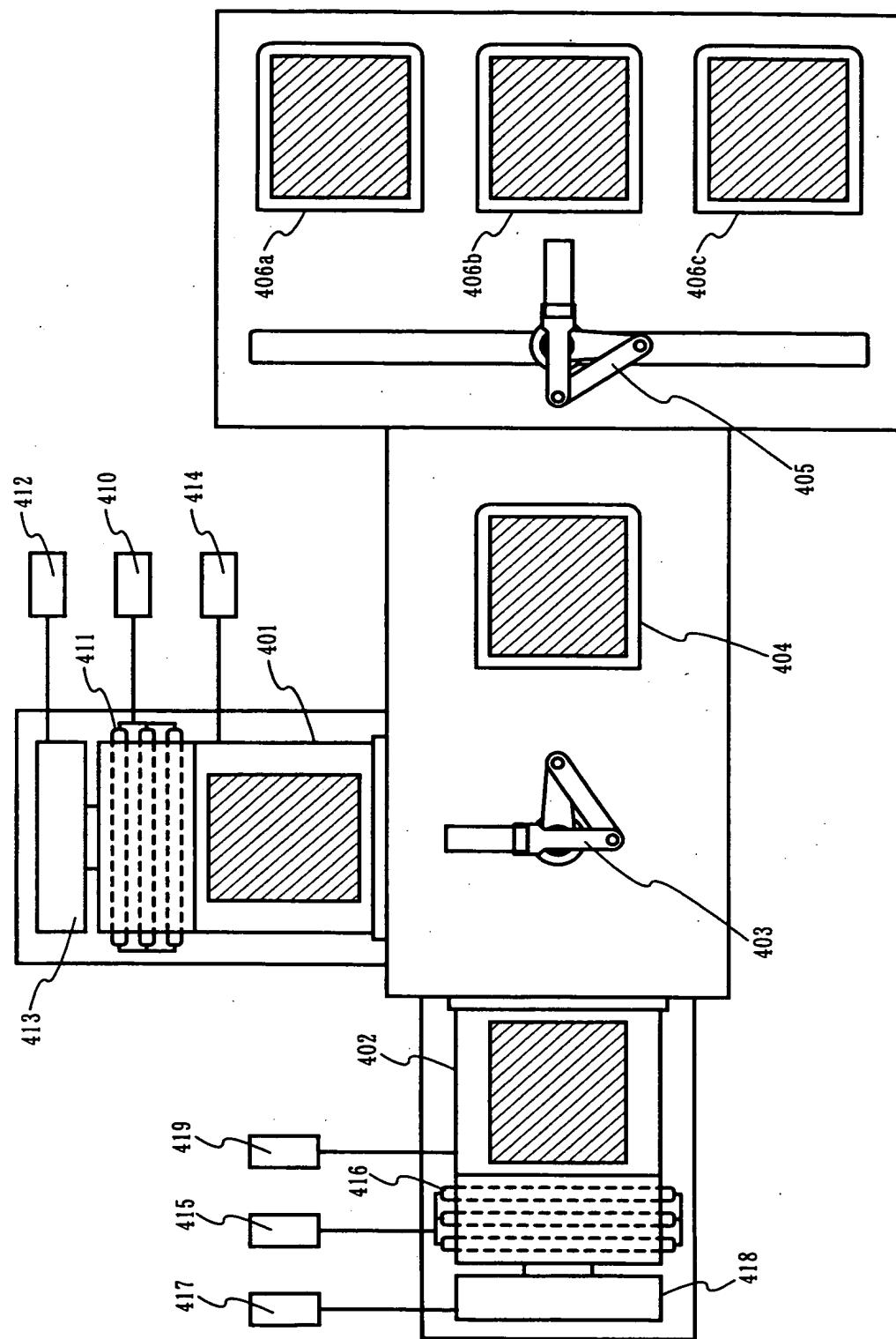
【図3】



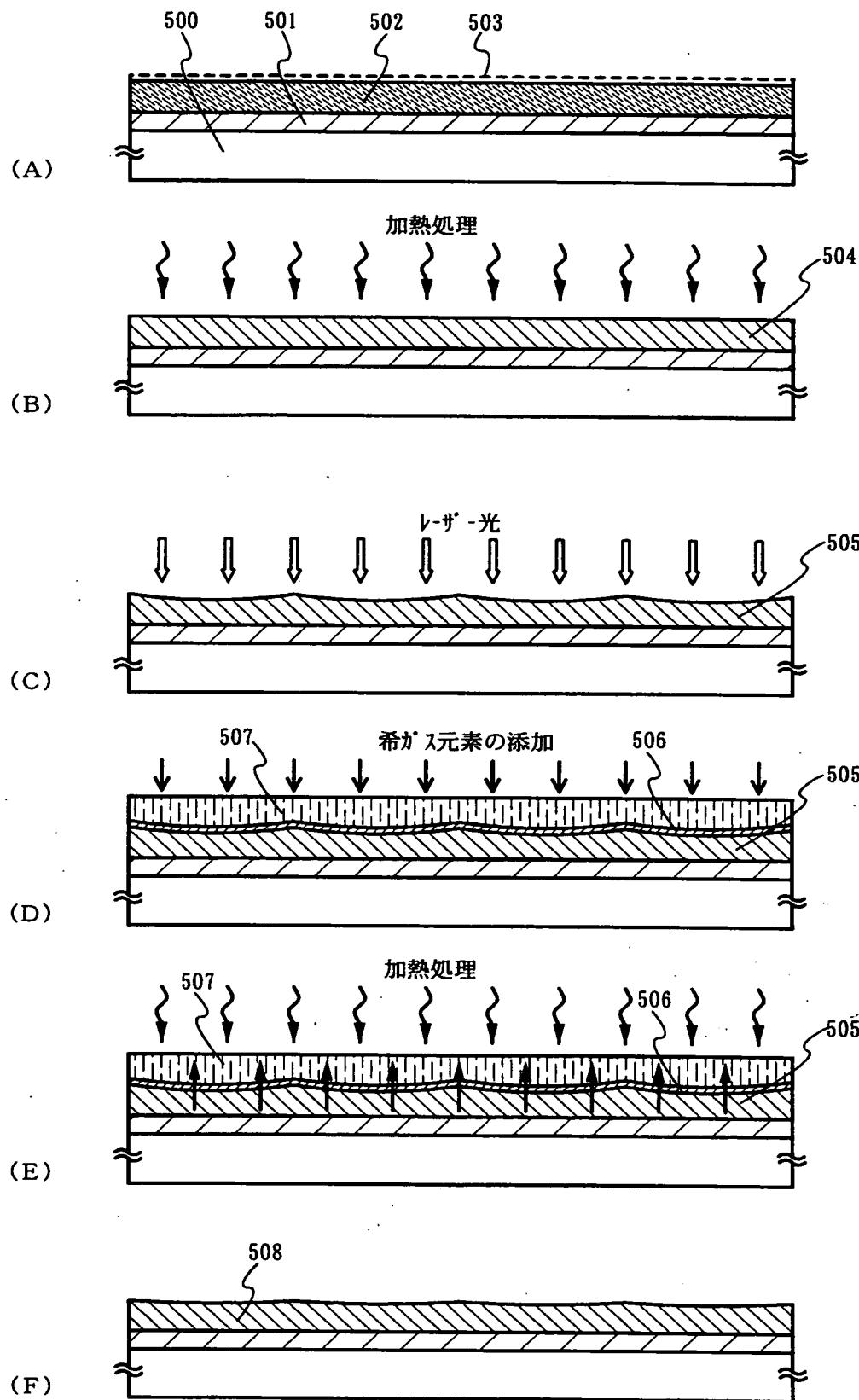
【図4】



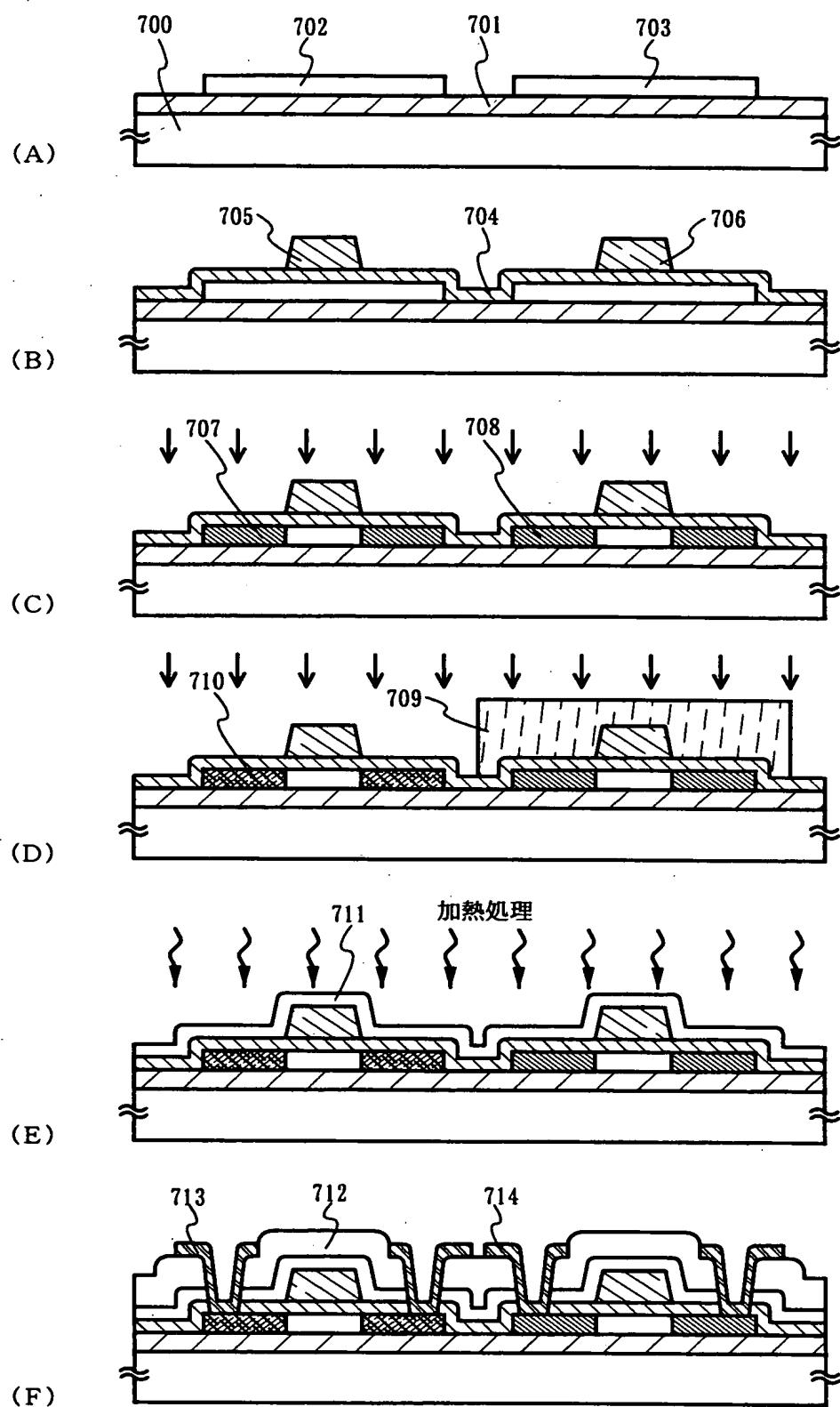
【図5】



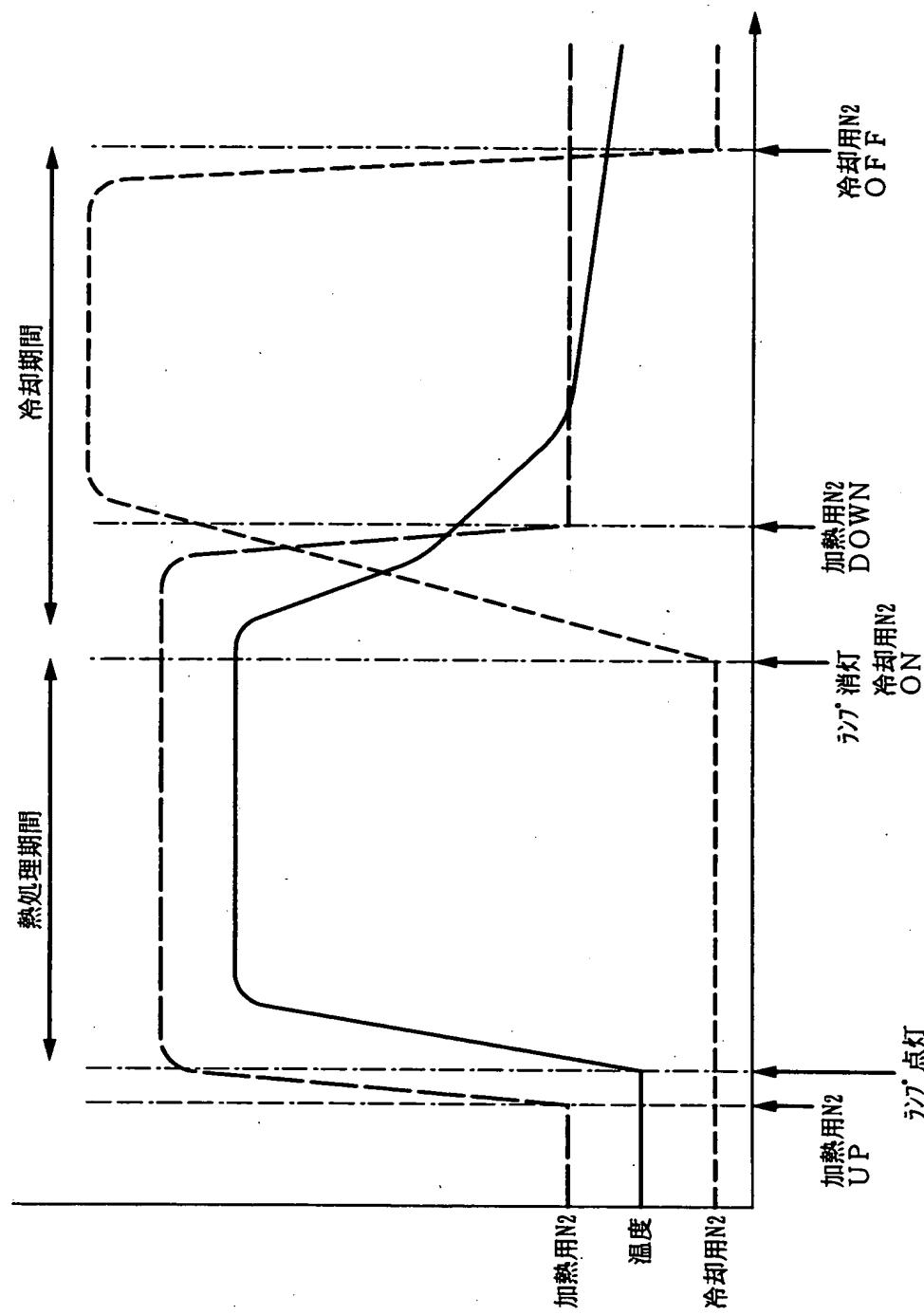
【図6】



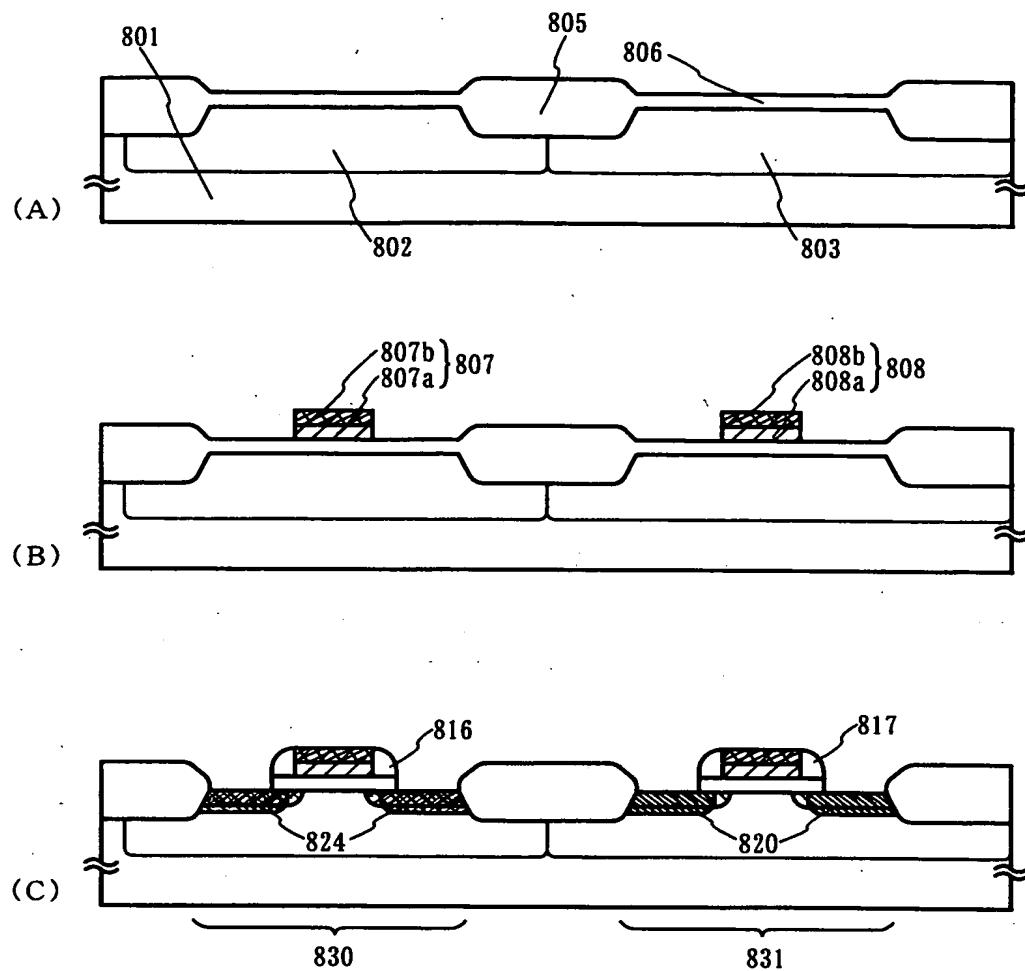
【図7】



【図8】



【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ガラスなど耐熱性の低い基板を用いた半導体装置の製造工程において、基板を変形させることなく、短時間の熱処理で半導体膜に添加した不純物元素の活性化や、半導体膜のゲッタリング処理をする方法と、そのような熱処理を可能とする熱処理装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明の熱処理装置の構成は、反応管の上流側からガスを供給する手段と、反応管の上流側においてガスを加熱する手段と、反応管の下流側において被処理基板を保持する手段と、前記ガスを前記反応管の下流側から上流側へ循環させる手段とを備えている。被処理基板の加熱に用いたガスを循環させることにより、ガスを加熱する電力を節約することができる。循環するガスの一部は排気されても良いが、新たに導入されるガスを予熱するための熱源として利用することができる。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000153878]

1. 変更年月日 1990年 8月17日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県厚木市長谷398番地

氏 名 株式会社半導体エネルギー研究所